

# VARASTOHALLIN SÄHKÖSUUNNITTELU

Meriläinen Heikki

Opinnäytetyö  
Tekniikan ja liikenne  
Sähkötekniikka  
Insinööri (AMK)

2017

Tekniikan ja liikenteen ala  
Sähkötekniikka  
Insinööri (AMK)

---

|                                |                                       |              |      |
|--------------------------------|---------------------------------------|--------------|------|
| <b>Tekijä</b>                  | Heikki Meriläinen                     | <b>Vuosi</b> | 2017 |
| <b>Ohjaaja</b>                 | Ins. (AMK) Marko Kukkola              |              |      |
| <b>Toimeksiantaja</b>          | Pohjolan Designtalo Oy, Talotekniikka |              |      |
| <b>Työn nimi</b>               | Varastohallin sähkösuunnittelu        |              |      |
| <b>Sivu- ja liitesivumäärä</b> | 35 + 12                               |              |      |

---

Tässä opinnäytetyössä tavoitteena oli tehdä sähkösuunnitelma varastohallikiinteistöön. Sähkösuunnittelussa laskettiin sähköjärjestelmän mitoituskalkulat ja tehtiin tarvittava dokumentointi. Sähkösuunnittelun ohessa oli tarkoitus kehittää varastohallien sähkösuunnittelua. Opinnäytetyössä tuotetut dokumentit ovat luottamuksellisia.

Varastohallin varastojen tulevat omistajat, vuokraajat tai käyttötarkoitus eivät ole suunnitteluvaiheessa selvillä. Varastoja tullaan aikaisemman kokemuksen perusteella käyttämään niin varastoina kuin monenlaisessa yritystoiminnassa. Sähköjärjestelmän mitoituksessa on varauduttava tulevaisuuden sähkötehon tarpeen nousuun tavallisimmin mitoitukseseen käytettyjä mitoitusmalleja ja – kaavojahuomattavasti suuremmalla kertoimella.

Sähköjärjestelmän komponenttien mitoitus tehdään niin, että kaapeleita ja sähkökeskuksia ei tarvitse tulevaisuudessa suurenkaan huipputehon nousun seurauksena uusia, vaan voidaan vain kasvattaa sähköliittymän pääsulakekokoa.

Avainsanat

sähkösuunnittelu, sähköpiirustus, varastot, halli

School of  
Name of Degree Programme  
Degree

---

|                          |                                   |      |      |
|--------------------------|-----------------------------------|------|------|
| <b>Author</b>            | Heikki Meriläinen                 | Year | 2017 |
| <b>Supervisor</b>        | Marko Kukkola, BSc                |      |      |
| <b>Commissioned by</b>   | PohjolanDesignitalo Oy            |      |      |
| <b>Subject of thesis</b> | Electrical Plan of a Storage Hall |      |      |
| <b>Number of pages</b>   | 41 + 12                           |      |      |

---

In this thesis the aim was to make an electrical plan for a warehouse hall. Electrical system calculations and the necessary documentations were made. Along with the design of the electric system, the objective was to develop the electrical engineering of the storage halls. The documents produced in the thesis are confidential.

The owners, renters or the intended use of the storage hall stores are not known at the design stage. Based on past experience, the warehouses will be used as warehouses and as in many types of businesses. The dimensioning of the electrical system must be prepared with a considerably larger scale of dimensions and scales used for dimensioning in order to increase the need for electric power in the future

The dimensioning of the electrical system components is done so that cables and electric centers do not have to be renewed in the future due to the high peak power increase, but the size of the main fuse can only be increased.

Key words

Electrical design, electrical drawing, warehouse, hall

## SISÄLLYS

|  |    |
|--|----|
| 1 JOHDANTO .....                                 | 6  |
| 2 SUUNNITTELU.....                               | 7  |
| 2.1 Liittymän mitoittaminen .....                | 7  |
| 2.1.1 Pääsulakkeen mitoittaminen .....           | 7  |
| 2.1.2 Liittymiskaapelin mitoittaminen.....       | 9  |
| 2.2 Asemapiirustus .....                         | 12 |
| 2.3 Asennus- ja apujärjestelmät.....             | 12 |
| 2.4 Sähkökeskukset.....                          | 12 |
| 2.5 Tasopiirustukset.....                        | 14 |
| 2.6 Kaapelien oikosulkusuojauksen laskenta.....  | 15 |
| 2.6.1 Syöttävän verkon impedanssi .....          | 15 |
| 2.6.2 Pääjohdot ja ryhmäjohdot.....              | 16 |
| 2.7 Kaapelien jännitteenaleneman laskenta .....  | 18 |
| 2.8 Maadoituskaavio .....                        | 21 |
| 2.9 Valaistus .....                              | 22 |
| 2.10 Tietotekniset järjestelmät .....            | 24 |
| 2.10.1 Yleiskaapelointi .....                    | 24 |
| 2.10.2 Kameravalvontajärjestelmä.....            | 25 |
| 2.11 Palovaroitinjärjestelmä ja savunpoisto..... | 25 |
| 2.12 Lämmitys .....                              | 25 |
| 3 MITOITUS JA LASKELMAT .....                    | 26 |
| 3.1 Liittymän mitoittaminen ja laskenta .....    | 26 |
| 3.1.1 Pääsulakkeen mitoittaminen .....           | 27 |
| 3.1.2 Liittymiskaapelin mitoittaminen.....       | 28 |
| 3.2 Kaapelien oikosulkusuojauksen laskenta.....  | 29 |
| 3.3 Kaapelien jännitteenaleneman laskenta .....  | 31 |
| 4 POHDINTA .....                                 | 33 |
| LÄHTEET .....                                    | 34 |
| LIITTEET .....                                   | 35 |

## KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

|      |                         |
|------|-------------------------|
| SPK  | Sähköpääkeskus          |
| NK   | Nousukeskus             |
| RK   | Ryhmäkeskus             |
| CAT6 | Kategoria 6 parikaapeli |
| PoE  | Power overEthernet      |

## 1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on tehdä sähkösuunnittelu varastohallikiinteistöön. Sähkösuunnittelussa lasketaan sähköjärjestelmän mitoituslaskelmat ja tehdään tarvittava dokumentointi. Suunnittelun ohessa on tarkoitus kehittää sähkösuunnittelua varastohallikonseptin kohteissa. Opinnäytetyön tilaaja toimittaa sähköurakan koko suunniteltavaan kohteeseen, joten suunnittelussa ei tehdä kaikkia ns. urakkalaskentapiirustuksien dokumentteja.

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimii Pohjolan Designtalo Oy, Talotekniikka. Pohjolan Designtalo Oy on koko Suomen alueella toimiva omakotitalotoimittaja. DesignTalotekniikka on Designtalon talotekniikkaosaosto, joka toteuttaa Designtalojen sähkö- ja LVI-järjestelmät. sekä tekee talotekniikka- ja sähköurakointia myös ulkopuolisiin ja isompiin kohteisiin.

Varastohallit on suunniteltu harraste- ja säilytystiloiksi. Tiloja käytetään myös paljon ammatti- ja yrityskäytössä, ja tilojen suunnittelussa on huomioitu suurten ajoneuvojen säilytys sekä talvikäyttö. Varaston toimitussisältöä voidaan muokata asiakkaan toiveiden mukaan. Myös useamman vierekkäisen varaston hankkiminen ja väliseinien poistaminen on mahdollista. Näin saadaan hyvät toimitilat yritykselle.

## 2 SUUNNITTELU

### 2.1 Liittymän mitoittaminen

Liittymän mitoitus on tehtävä huolella, koska poikkipinnaltaan liian pieni liittymiskaapeli on kallis vaihtaa jälkeensä isompaan ja liian suuri kaapeli taas kasvattaa rakennusvaiheen kustannuksia. Sähkölitiymän hinta määräytyy pääsulakekoon mukaan, joten myös pääsulakkeen oikea mitoitus on tärkeä. Pääsulakkeen muuttaminen yhtä sulakekokoa isommaksi voi nostaa sähkölitiymän hintaa yli 100A:n sulakkeilla noin 2000–6000€ riippuen verkonhaltijasta, vyöhykkeestä ja sulakekoosta. Liian pieni sulaketaas palaa, varsinkin sähkölämmityskohteissa, kovimmilla pakkasilla, kun lämpöä tarvitaan eniten. Lisäksi on huomioitava kohteen alueella toimivan verkonhaltijan sulakekovalikoima. Sähkölitiymän mitoitukseen löytyy tarkempiakin laskentakaavoja, mutta luvussa 2.2 esitettyä laskentatapaa voidaan pitää riittävän tarkkana tämän kokoisessa kohteessa.

#### 2.1.1 Pääsulakkeen mitoittaminen

Pääsulake mitoitetaan kiinteistön huipputehon  $P_{kmax}$  ja sen kautta lasketun virran ( $I_{max}$ ) mukaan. Varastoihin tulee sähkölämmitykset, joten suurin tehonkulutus tulee ajoittumaan talvelle. Huipputehon laskentaan löytyy asuinrakennuksille ja toimistotiloille kaavoja, jotka eivät suoraan sovellu hallien, varastojen ja harrastetilojen huipputehon laskentaan. Talliosakekiinteistön huipputehon laskentaa varten on ensin selvitettävä keskimääräinen talliosakekohtainen huipputeho  $P_{hmax}$ , joka määrittyy osakkeen käyttötarkoituksen ja osakkeessa käytettävän sähkölaitteiston mukaan.  $P_{hmax}$  saadaan laskettua kaavalla 1. (Sähkötieto ry 2011, 14-15)

$$P_{hmax} = P_{hläm} + k1(P_{LVV} + P_{kk} + P_{val}) \quad (1)$$

missä

|            |    |                    |
|------------|----|--------------------|
| $P_{hläm}$ | on | lämmitysteho       |
| $P_{LVV}$  | on | lämminvestivaraaja |
| $P_{kk}$   | on | kojekuorma         |
| $P_{val}$  | on | valaistuskuorma    |
| $k1$       | on | tasauskerroin      |

(Sähkötieto ry 2011, 15)

Lisäksi käytetään tasauskerrointa  $k1$ , joka määrittyy sen mukaan, miten paljon laiteryhmän laitteista on enimmillään käytössä samanaikaisesti.  $P_{max}$  saadaan laskemalla talliosakekohtaiset huipputehot yhteen ja lisäämällä siihen LVI-laitteiden, ulkovalaistuksen ja muiden kiinteistön yhteisten sähkölaitteistojen kuormat. Huipputeho voidaan laskea käyttämällä kaavaa 2. (Sähkötieto ry 2011, 15)

$$P_{max} = 1,3 * (P_{IV-kone} + P_{valaistus} + P_{muut\ LVI-laitteet} + P_{kojeet\ ja\ laitteet} + P_{sähkölämmitykset} + P_{muut}) \quad (2)$$

missä

|                          |    |  |
|--------------------------|----|--|
| $1,3 \times$             | on | kerroin sähkötehon tarpeen lisäykselle tulevaisuudessa |
| $P_{IV-kone}$            | on | Ilmastointikoneen teho                                 |
| $P_{valaistus}$          | on | ulkovalaistus ja muu yhteisten tilojen valaistus       |
| $P_{muut\ lvi-laitteet}$ | on | muut LVI-laitteiden ottama teho                        |
| $P_{kojeetjalaitteet}$   | on | muiden kojeiden ja laitteiden ottama teho              |
| $P_{sähkölämmitykset}$   | on | yhteisten tilojen sähkölämmityskuorma                  |
| $P_{muut}$               | on | muut kuormat   |

(ST 13.31 Sähkötieto ry 2011, 14)

Mitoitusteho ( $P_{max}$ ) tarkoittaa yleensä huipputehoa 15 min tai 60 min laskentajaksolta. Huipputeho määritellään kokemusperäisesti tai erilaisilla laskentamalleilla. Mitoitettavaa huipputehoa määritettäessä tulee huomioida varaus tulevaisuuden kuormituksen kasvulle. (Sähkötieto ry 2011, 22)



Liittymisjohdon mitoitusvirta ( $I_{max}$ ) saadaan laskemalla rakennuksen huipputehon ( $P_{max}$ ) ja tehokertoimen ( $\cos\varphi$ ) avulla kaavalla 3. Liittymän pääsulakkeeksi valitaan mitoitusvirran ( $I_{max}$ ) arvoa seuraava isompi sulakekoko. (Sähkötieto ry 2011, 22)

$$I_{max} = P_{max} / (\sqrt{3} * U_p * \cos \varphi) \quad (3)$$

missä

|               |    |  |
|---------------|----|--|
| $P_{max}$     | on | liittymisjohdon mitoitus-teho (kW)           |
| $I_{max}$     | on | liittymisjohdon mitoitusvirta (A)            |
| $U_p$         | on | verkon pääjännite (0,4 kV)                   |
| $\cos\varphi$ | on | kuormituksen perusaallon (50 Hz) tehokerroin |

(Sähkötieto ry 2011, 22)

### 2.1.2 Liittymiskaapelin mitoittaminen

Kun on saatu selville pääsulakkeen koko, voidaan valita ja mitoittaa liittymisjohto. Nykyään yleisimmin käytetty maahan asennettava liittymiskaapeli on neljäjohtiminen AXMK-tyypin kaapeli. Rakennuksen liittymisjohtoa valittaessa tulee huomioida kuormitusvirran kestävyys, kaapelin oikosulkuvirran kestävyys, oikosulkuvirran riittävyys rakennuksen sähköverkossa, jännitehäviöt ja elinkaarikustannukset. Myös PEN-johtimen 3. yliaallon vaikutukset täytyy ottaa huomioon, jos sähköverkkoon tullaan liittämään 3. yliaaltoja tuottavia laitteita. (Sähkötieto ry 2011, 20)

Yliaalloilla ei ole käytännössä vaikutusta tämän kohteen liittymisjohdon mitoitukseen. Kohteessa tulee olemaan hyvin vähän yliaaltoja tuottavia sähkölaitteita, suurimpina purkauslamput ja PC:t. Kohteen sähköverkon kuormitus suunnitellaan mahdollisimman symmetriseksi yliaaltojen esiintymisen minimoimiseksi.

Liittymisjohdon vähimmäiskuormitettavuus saadaan liittymän pääsulakkeen nimellisvirtaa vastaavan virta-arvon kohdalta taulukosta 1. Johtimen poikkipinta-alaksi valitaan taulukosta 2 johdon vähimmäiskuormitettavuutta seuraava isompi virta-arvo asennustavan mukaisesta sarakkeesta.

Taulukko 1. Johdolta vaadittu kuormitus käytettäessä gG-sulaketta ylikuormitussuojana (D1-2012 Taulukko 43.1)

| gG-sulakkeen<br>nimellisvirta [A] | Johdon kuormitettavuus<br>oltava vähintään [A] |
|-----------------------------------|--|
| 6                                 | 8  |
| 10                                | 13,5   |
| 16                                | 18   |
| 20                                | 22   |
| 25                                | 28   |
| 32                                | 35   |
| 35                                | 39   |
| 40                                | 44   |
| 50                                | 55   |
| 63                                | 70   |
| 80                                | 88   |
| 100                               | 110  |
| 125                               | 138  |
| 160                               | 177  |
| 200                               | 221  |
| 250                               | 276  |
| 315                               | 348  |
| 400                               | 441  |
| 500                               | 552  |
| 630                               | 695  |
| 800                               | 883  |
| 1000                              | 1103   |
| 1250                              | 1379   |

Taulikko2. Johtojen kuormitettavuudet (A) eri asennustavoilla (D1-2012 Taulukko 52.1)

| Johtimen<br>poikkipinta-ala<br>[mm <sup>2</sup> ] | SFS 6000:n mukaiset asennustavat |            |          |           |
|---|----------------------------------|------------|----------|-----------|
|   | A<br>uppo                        | C<br>pinta | D<br>maa | E<br>ilma |
| Kupari  |                                  |            |          |           |
| 1,5   | 14                               | 18,5       | 26       | 19        |
| 2,5   | 19                               | 25         | 35       | 26        |
| 4   | 24                               | 34         | 46       | 36        |
| 6   | 31                               | 43         | 57       | 45        |
| 10  | 41                               | 60         | 77       | 63        |
| 16  | 55                               | 80         | 100      | 85        |
| 25  | 72                               | 102        | 130      | 107       |
| 35  | 88                               | 126        | 160      | 134       |
| 50  | 105                              | 153        | 190      | 162       |
| 70  | 133                              | 195        | 240      | 208       |
| 95  | 159                              | 236        | 285      | 252       |
| 120   | 182                              | 274        | 325      | 292       |
| 150   | 208                              | 317        | 370      | 338       |
| 185   | 236                              | 361        | 420      | 386       |
| 240   | 278                              | 427        | 480      | 456       |
| 300   | 316                              | 492        | 550      | 527       |
| Alumiini  |                                  |            |          |           |
| 16  | 43                               | 62         | 78       | 65        |
| 25  | 56                               | 77         | 100      | 83        |
| 35  | 69                               | 95         | 125      | 102       |
| 50  | 83                               | 117        | 150      | 124       |
| 70  | 104                              | 148        | 185      | 159       |
| 95  | 125                              | 180        | 220      | 194       |
| 120   | 143                              | 209        | 255      | 225       |
| 150   | 164                              | 240        | 280      | 260       |
| 185   | 187                              | 274        | 330      | 297       |
| 240   | 219                              | 323        | 375      | 350       |
| 300   | 257                              | 372        | 430      | 404       |

## 2.2 Asemapiirustus

Sähköasemapiirustuksessa esitetään rakennukset ja kaikki rakennuksiin tulevat liittymiskaapelit, sekä muut alueelle tulevat asennukset kuten ulkovalaisimet, autolämmityspistorasiat sekä kaapeloinnit. Rakennusten ulkopuoliset sähköasennukset näkyvät ainoastaan asemapiirustuksessa, joten piirustukseen on piirrettävä selvästi, mitä asennuksia ja kaapelointeja piha-alueilla on. (Sähkötieto ry 2007, 6)

Kohteeseen tehtiin sähköasemapiirustus, jossa esitetään rakennuksille tulevat kaapeloinnit ja kiinteistöille tulevat rakennusten ulkopuoliset sähköasennukset. Kohteesta piirretään myös työmaa-aikainen sähkösuunnitelma. Sähköasemapiirustus löytyy liitteenä. (Liite2)

## 2.3 Asennus- ja apujärjestelmät

Kiinteistön syöttökaapelit asennetaan 110mm:n suojaputkeen. Lisäksi asennetaan yksi 110mm:n suojaputki varaukseksi puhelinoperaattorin kaapeleille.

Talliosakkeiden syöttökaapelit tuodaan lattian kautta suojaputkessa. Myös yleiskaapelointi tuodaan suojaputkessa lattian kautta. Talliosakkeen ryhmäkeskuksen viereen asennetaan kaapelikouru, jota pitkin syöttökaapeli tuodaan ryhmäkeskukselle. Kaapelikouruun asennetaan myös pistorasia, RJ45-rasia, 3~pistorasia ja nosto-ovelle vielä toinen 3~pistorasia.

## 2.4 Sähkökeskukset

Sähköpääkeskus on kiinteistön sähköverkon solmupiste. SPK liitetään sähköjakeluverkkoon liittymiskaapelilla. Keskukseen valinnassa ja suunnittelussatäytyy ottaa huomioon, että sen komponentit kestävät sijaintipaikan suurimman oikosulkuvirran. Keskus suunnitellaan jakelualueen kuormitusten mukaan ja keskukseen jätetään laajennusvaraa. (Sähkötieto ry 2007, 11)

Keskuksen pääkaaviossa esitetään keskuksen tekniset tiedot, rakenne, lähdöt ja pääkomponentit, kuten kuormakytkimet, kytkinvarokkeet, mittarit, kontaktorit, johdonsuojakatkaisijat, sulakkeet, vikavirtasuojakytkimet ja releet, sekä komponenttien nimellisvirrat. Keskuskaaviosta tulee selvittää keskuslähtöjen käyttötarkoitukset, suojalaitteet ja kaapelityypit. (Sähkötieto ry 2007, 11)

Varastohallikiinteistön sähköpääkeskus sijoitetaan tekniseen tilaan. SPK:seen tulee mittarointi kiinteistösähkölle, sekä jokaiselle varastolle. Jokaiseen varastoon tulee ryhmäkeskus. Kiinteistön yhteisten sähkölaitteiden sähkönsyötöt tulevat SPK:lta. Sähköpääkeskuksen nimellisvirraksi mitoitetaan huipputeholaskelman mukaisesti 250A.

Varastohallikiinteistön sähköpääkeskuksen keskuskaaviopiirrettiin CADS Planner-ohjelman keskuskaavio-sovelluksella. Mallia voidaan hyvin pienin muutoksin käyttää tulevien tämän tyyppin rakennusten sähköpääkeskuksen keskuskaaviona. Myös varastojen ryhmäkeskus piirrettiin keskustoimittajan keskuskaavion pohjalta. SPK tilataan keskustoimittajalta suunnitellun keskuskaavion mukaisena. SPK:n keskuskaavio löytyy liitteestä 4 ja RK:n keskuskaavio liitteestä 5.

## 2.5 Tasopiirustukset

*"Tasopiirustuksen päätarkoituksena on esittää rakennuksen sähkö- ja telejärjestelmien laitteet ja pisteet sijainteineen sekä niiden väliset johdotukset. Tasopiirustuksessa esitetään yleensä kaikki sähköjakelujärjestelmään liitetyt keskukset, kojeet ja laitteet sekä valaisimet, valaisinpisteet, kytkimet ja pistorasiat. Lisäksi tasopiirustuksessa esitetään telejärjestelmiin liittyvät keskuslaitteet ja kojeet sekä liitántärsiat." (Sähkötieto ry 2007, 19)*

Kohteesta piirrettiin tasopiirustus (LIITE 3). Talliosakkeen sähköurakan sisältö ja jokaiseen talliosakkeeseen vakiona asennettavat sähköasennukset ja sähköpisteet on sovittu tilaajan kanssa. Tasopiirustuksen lisäksi piirrettiin mittakuva, missä esitetään mm. varastoihin lattian kautta tuotavien kaapeleiden ylösnousupaikkojen sijainti. Tällä pyritään varmistamaan, että kaapelit nousevat oikeista paikoista ylös ja myöhemmin olisi mahdollisimman vähän korjattavaa.

## 2.6 Kaapelien oikosulkusuojauksen laskenta

Suojalaitteiden toiminta varmistetaan laskelmilla suunnittelun ja kaapeleiden mitoituksen yhteydessä. Automaattisen poiskytkennän laskennallisessa tarkastelussa määritetään oikosulkuvirta vaihe- ja suojamaadoitusjohtimen välillä tapahtuvassa pieni-impedanssisessa oikosulussa. Laskennassa käytetään VDE:n likiarvomenetelmää. Suojauksen toiminta tarkastetaan ja mitataan myös käyttöönottotarkastuksessa.(TAMK Talotekniikka 2013)

Laskennassa käytetään kaavaa:

$$I_k = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z_k} \quad (4)$$

missä

|       |    |   |
|-------|----|---|
| $I_k$ | on | vikavirtapiirin pienin oikosulkuvirta (A)       |
| $c$   | on | kerroin joka ottaa huomioon jännitteen alenemat |
| $U$   | on | pääjännite(V)                                   |
| $Z_k$ | on | vikavirtapiirin impedanssi( $\Omega$ )          |

(TAMK Talotekniikka 2013)

### 2.6.1 Syöttävän verkon impedanssi

Ensin määritetään syöttävän verkon impedanssi tai oikosulkuvirta  $I_k$  sähköverkkoyhtiöltä. Liittymän oikosulkuvirta tulee olla riittävä. Pääsulakkeiden, on toimittava alle 5s:ssa, heti niiden jälkeen tapahtuvassa yksivaiheisessa oikosulussa (L-PE).Kertoimen  $c$  arvona käytetään  $C = 1 \dots 0,95$  PK:lla ja muualla kiinteistössä  $c = 0,95 \dots 0,9$ .(TAMK Talotekniikka 2013)

## 2.6.2 Pääjohdot ja ryhmäjohdot

Koko kiinteistön verkko lasketaan vaiheittain. Verkon impedanssit ja oikosulkuvirrat lasketaan ryhmäkeskuksille ja nousujohtojen suojalaitteiden riittävän nopea toimivuus tarkistetaan. Lopuksi tarkistetaan vielä oikosulkuvirtojen riittävyys ryhmäjohtojen epäedullisimmissa pisteissä.(TAMK Talotekniikka 2013)

Oikosulkuvirtojen laskemiseen tarvittavat johtimien impedanssit löytyvät taulukosta4.Suojalaitteiden toiminta-aikoja poiskytkentöjen laskemiseen löytyy taulukoista 5 ja 6.

Taulukko 4.Kaapeleiden likimääräisiä impedansseja [ $\Omega/\text{km}$ ] johdinlämpötilassa 80 °C.(D1-2012 Käsikirja, Taulukko 41.6.)

| Johtimen<br>poikkipinta-<br>ala [ $\text{mm}^2$ ] | Kupari           |                 |                 | Alumiini         |                 |                 |
|---|------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|
|   | Resistanssi<br>r | Reaktanssi<br>x | Impedanssi<br>z | Resistanssi<br>r | Reaktanssi<br>x | Impedanssi<br>z |
| 4 × 1,5   | 14,620           | 0,115           | 14,620          |                  |                 |                 |
| 4 × 2,5   | 8,770            | 0,110           | 8,770           |                  |                 |                 |
| 4 × 4   | 5,480            | 0,107           | 5,480           |                  |                 |                 |
| 4 × 6   | 3,660            | 0,100           | 3,660           |                  |                 |                 |
| 4 × 10  | 2,244            | 0,094           | 2,246           |                  |                 |                 |
| 4 × 16  | 1,415            | 0,090           | 1,418           | 2,324            | 0,090           | 2,326           |
| 4 × 25  | 0,898            | 0,086           | 0,902           | 1,489            | 0,086           | 1,492           |
| 4 × 35  | 0,652            | 0,083           | 0,657           | 1,086            | 0,083           | 1,089           |
| 4 × 50  | 0,482            | 0,083           | 0,489           | 0,796            | 0,083           | 0,800           |
| 4 × 70  | 0,336            | 0,082           | 0,346           | 0,551            | 0,082           | 0,557           |
| 4 × 95  | 0,244            | 0,082           | 0,257           | 0,398            | 0,082           | 0,406           |
| 4 × 120   | 0,195            | 0,080           | 0,211           | 0,316            | 0,080           | 0,326           |
| 4 × 150   | 0,155            | 0,080           | 0,174           | 0,258            | 0,080           | 0,270           |
| 4 × 185   | 0,125            | 0,080           | 0,148           | 0,207            | 0,080           | 0,222           |
| 4 × 240   | 0,095            | 0,079           | 0,124           | 0,162            | 0,079           | 0,180           |
| 4 × 300   | 0,078            | 0,079           | 0,111           | 0,133            | 0,079           | 0,155           |



Taulukko 5. Automaattisen poiskytkennän takia vaadittavat oikosulkuvirrat.(D1-2012 Käsikirja, Taulukko 41.4a.)

| Nimellisvirta<br>[A] | Pienimmät toimintavirrat [A] johdonsuojakatkaisijoille |                          |                                 |                          |
|----------------------|--|--------------------------|---------------------------------|--------------------------|
|                      | B-tyyppi   |                          | C-tyyppi                        |                          |
|                      | toiminta-aika<br>0,4 s ja 5,0 s                        | vaadittu<br>mitattu arvo | toiminta-aika<br>0,4 s ja 5,0 s | vaadittu<br>mitattu arvo |
| 6                    | 30   | 37,5                     | 60                              | 75                       |
| 10                   | 50   | 62,5                     | 100                             | 125                      |
| 13                   | 65   | 81,3                     | 130                             | 162,5                    |
| 16                   | 80   | 100                      | 160                             | 200                      |
| 20                   | 100  | 125                      | 200                             | 250                      |
| 25                   | 125  | 156,3                    | 250                             | 312,5                    |
| 32                   | 160  | 200                      | 320                             | 400                      |
| 50                   | 250  | 312,5                    | 500                             | 625                      |
| 63                   | 315  | 393,8                    | 630                             | 787,5                    |
| 80                   | 400  | 500                      | 800                             | 1000                     |
| 125                  | 625  | 781,3                    | 1250                            | 1562,5                   |

Taulukko 6.gG-sulakkeiden edellyttämät pienimmät oikosulkuvirrat. (D1-2012 Käsikirja, Taulukko 41.5.)

| Sulakkeen<br>nimellisvirta<br>[A] | Pienimmät toimintavirrat ja vaaditut mitatut arvot [A] |              |                     |              |
|-----------------------------------|--|--------------|---------------------|--------------|
|                                   | toiminta-aika 0,4 s                                    |              | toiminta-aika 5,0 s |              |
|                                   | toimintavirta  | mitattu arvo | toimintavirta       | mitattu arvo |
| 2                                 | 16   | 20           | 9                   | 11,3         |
| 4                                 | 32   | 40           | 18                  | 22,5         |
| 6                                 | 46,5   | 58,2         | 28                  | 35           |
| 10                                | 82   | 102,5        | 46,5                | 58,2         |
| 16                                | 110  | 137,5        | 65                  | 81,3         |
| 20                                | 145  | 181,3        | 85                  | 106,3        |
| 25                                | 180  | 225          | 110                 | 137,5        |
| 32                                | 270  | 337,5        | 150                 | 187,5        |
| 35                                |  |              | 165                 | 206,5        |
| 40                                |  |              | 190                 | 237,5        |
| 50                                |  |              | 250                 | 312,5        |
| 63                                |  |              | 320                 | 400          |
| 80                                |  |              | 425                 | 531,3        |
| 100                               |  |              | 580                 | 725          |
| 125                               |  |              | 715                 | 893,8        |
| 160                               |  |              | 950                 | 1187,5       |
| 200                               |  |              | 1250                | 1562,5       |
| 250                               |  |              | 1650                | 2062,5       |
| 315                               |  |              | 2200                | 2750         |
| 400                               |  |              | 2840                | 3550         |
| 500                               |  |              | 3800                | 4750         |
| 630                               |  |              | 5100                | 6375         |

## 2.7 Kaapelien jännitteenaleneman laskenta

Kiinteistön sähköverkko tulee suunnitella niin, että jännite eipääse tippumaan liian alhaiseksi missään kulutuslaitteen asennuspaikassa. Jännitteen tasollaon vaikutus sähkölaitteiden toimintaan. Jännitteenalenemaan vaikuttaa kuormitusvirta ja johtimien resistanssit ja reaktanssit. Kuormitusvirta aiheuttaa yksivaiheisessa virtapiirissä jännitteen alenemaa sekä vaihe- että nollajohtimessa. Jännitteen alenemisen lisäksi varsinkin pitkillä kaapeleilla muodostuu vaihesiirtoa alku- ja loppupään jännitteiden välille.(Jännitteen aleneman laskenta 2016)

Jännitteenalenema ei saisi liittymispisteen ja minkään kuormituspisteen välillä suurempi kuin taulukon G.52.1 arvot.(SFS-600-12012, 262)

Taulukko7. Sallitut jännitteen alenemat SFS-Käsikirja 600-1 Taulukko G.52.1(SFS-600-1 2012, 262).

| Asennuksen tyyppi   | Valaistus % | Muu käyttö % |
|---|-------------|--------------|
| A – Pienjänniteasennus, joka on syötetty suoraan yleisestä jakeluverkosta   | 3           | 5            |
| B – Pienjänniteasennus, joka on syötetty yksityisestä teholähteestä <sup>a</sup>  | 6           | 8            |
| <sup>a</sup> Suositellaan, että niin pitkälle kuin mahdollista ryhmäjohtojen jännitteenalenema ei ylitä asennustyyppille A annettuja arvoja.<br>Kun asennuksen pääjohdot ovat pitempiä kuin 100 m, näitä jännitteenalenemia voidaan kasvattaa 0,005 % johdon 100 m ylittävän pituuden metriä kohti. Ilman tätä lisäystä se ei saa olla suurempi kuin 0,5 %.<br>Jännitteenalenema määritellään sähkölaitteen tehontarpeen mukaan käyttäen soveltuvin osin tasoituskertoimia, tai käyttäen piirien suunniteltuja virtoja. |             |              |

Suurempi jännitteen alenema on sallittu vain moottoreilla käynnistykseen aikana ja muilla laitteilla, joilla on suuri käynnistysvirta, edellyttäen, että jännitteen vaihtelu on laitestandardien mukainen.(SFS-600-1 2012, 262)

Jännitteenalenema voidaan laskea seuraavalla kaavalla:

$$\Delta U = b \left( \rho_1 \frac{L}{s} \cos \varphi + \lambda L \sin \varphi \right) I_B \quad (5)$$

missä

|                |    |   |
|----------------|----|---|
| $\Delta U$     | on | jännitteenalenema voltteina   |
| $b$            | on | kerroin, joka on 1 kolmivaiheisille ja 2 yksivaihepiireille   |
| $\rho_1$       | on | johdinmateriaalin resistiivisyys<br>(Cu = 0,0225 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ , Al = 0,036 $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$ ) |
| $L$            | on | johtojärjestelmän pituus metreinä   |
| $s$            | on | johtimien poikkipinta-ala $\text{mm}^2$ :nä   |
| $\cos \varphi$ | on | tehokerroin (arvio 0,8, $\sin \varphi = 0,6$ )  |
| $\lambda$      | on | johtimen reaktanssi johtimen pituusyksikköä kohden<br>(oletus 0,08 $\text{m}\Omega/\text{m}$ )                            |
| $I_B$          | on | suunniteltu virta ampeereina  |

(SFS-600-1 2012, 263)

Käsikirja D1-2012 sivulla 233 on johdettu kaavasta 5 seuraavat laskentakaavat:

Yksivaiheinen vaihtojännite:

$$\Delta U = I \cdot 2 \cdot l (r \cdot \cos\varphi \pm x \sin\varphi) \quad (6)$$

Kolmivaiheinen vaihtojännite:

$$\Delta U = I \cdot \sqrt{3} \cdot l (r \cdot \cos\varphi \pm x \sin\varphi) \quad (7)$$

missä

|            |    |  |
|------------|----|--|
| $\Delta U$ | on | jännitteenalenema voltteina  |
| $I$        | on | suunniteltu virta ampeereina   |
| $l$        | on | johtojärjestelmän pituus metreinä  |
| $r$        | on | ominaisresistanssi ( $\Omega/\text{m}$ ).  |
| $x$        | on | ominaisreaktanssi ( $\Omega/\text{m}$ ).   |
| $\varphi$  | on | jännite- ja virtaosoittimien välinen vaihekulma<br>( $\cos\varphi = 0,8$ , $\sin\varphi = 0,6$ ) |

(D1-2012, 233)

Suhteellinen jännitteenalenema saadaan laskettua seuraavalla kaavalla:

$$\Delta u = 100 \frac{u}{U_0} \quad (8)$$

missä

|            |    |   |
|------------|----|---|
| $\Delta u$ | on | suhteellinen jännitteenalenema (%)          |
| $u$        | on | jännitteenalenema voltteina                 |
| $U_0$      | on | jännite vaiheen ja nollan välillä voltteina |

(SFS-600-1 2012, 263)

## 2.8 Maadoituskaavio

Maadoituskaavion tulee selvittää rakennuksen maadoitusverkon rakenne. Maadoituskaavioissa esitetään pääpotentiaalintasauskiskot, potentiaalintasauskiskot, ja muut maadoituskiskot sekä kiskoihin liittyvät johdot. Kaaviossa tulee myös näkyä liitokset maadoituselektrodiin sekä johtaviin rakenteisiin.

Kohteesta piirrettiin maadoituskaavio (Liite 6). Kaaviossa esitettiin kaikki maadoitus- ja potentiaalintasauskiskot, johtimet, johtavat rakenteet ja maadoituselektrodi. Sähköturvallisuuden kannalta maadoituskaavio on erittäin tärkeä dokumentti. Vika maadoitusjärjestelmässä aiheuttaa lähes aina vaaratilanteen. (Sähkötieto ry 2007, 8)

## 2.9 Valaistus

Varastoihin suunnitellaan riittävä ja kustannustehokas valaistus. Varastojen sisävalaistus toteutetaan 2x49W loisteputkivalaisimilla. Yhteen varastoon tulee varaston koosta riippuen kaksi tai kolme loisteputkivalaisinta. Nämä ovat riittävä määrä varastokäytössä, mutta mikäli loppukäyttäjä aikoo käyttää varastoa esimerkiksi verstaana, tarvitaan lisävalaistusta. Varaston sisäseinät ovat valkoiseksi maalattua peltiä eli valo heijastuu hyvin seinäpinnoilta.

Taulukko 8. Suositeltavat valaistusvoimakkuudet. (ABB 2007, 6)

| Suosittelava valaistusvoimakkuus (lx) | Tila tai työskentelyolosuhde  | Esimerkkejä  |
|---------------------------------------|---|--|
| 20...30...50<br>50...75...100         | Ulkotyöalueiden yleisvalaistus<br>Kulkuväylät, lyhytaikainen oleskelu |  |
| 100...150...200                       | Tilat, joita ei käytetä jatkuvasti työskentelyssä                     | Eteiset, aulat, käytävät, varastot,  |
| 200...300...500                       | Yksinkertaisten näkötehtävien tilat                                   | Paperikonesalit, maalaamot, karkea kone- ja penkkityö  |
| 300...500...750                       | Kohtuullista tarkkuutta vaativien näkötehtävien tilat                 | Toimistot, luokkahuoneet, laboratoriot, itsepalvelumyymälät  |
| 500...750...1000                      | Tarkkuutta vaativat näkötehtävät                                      | Pankkien asiakaspalvelu, avotoimistot, melko tarkka kone- ja penkkityö mm automaattikoneet, valvomot |
| 750...1000...1500                     | Suurta tarkkuutta vaativat näkötehtävät                               | Tarkkuutta vaativa toimistotyö, värintarkastus   |
| 1000...1500...2000                    | Erittäin suurta tarkkuutta vaativat näkötehtävät                      | Värintarkastus, värinmäärittely, tarkka kone- ja penkkityö, tarkka piirustustyö                      |
| 1000... 2000...3000                   | Pitkäaikaiset erittäin vaativat näkötehtävät                          | Mikroelektroniikka, käsinkaiverrus, mikroskopiointi,   |

Keskikokoisesta varastohallista tehtiin valaistuslaskelma Dialux-valaistussuunnitteluohjelmalla. Valaistussuunnitelma löytyy liitteestä 8. Suunniteltu valaistus on valaistuslaskelman mukaan riittävä varastotilaan ja käytettäväksi tilassa jossa työskennellään, mutta tehdään vain yksinkertaista näkö tarkkuutta vaativaa työtä. Valaisinluettelo löytyy liitteestä 7.

Poistumistievalaistusta ei varastorakennuksissa määräysten mukaan tarvita, mutta jos varaston käyttötarkoitus muuttuu esimerkiksi toimistoksi, on poistumistievalaistus asennettava. Tässä kohteessa ei suunnitteluvaiheessa tarvita poistumistievalaistusta. Rakennuksen ulkoseinin suunnitellaan riittävä ulkovalaistus.

## 2.10 Tietotekniset järjestelmät

Kohteeseen suunnitellaan yleiskaapelointi- ja kamerajärjestelmät. Antennijärjestelmää ei rakennukseen tule.

### 2.10.1 Yleiskaapelointi

Kohteesta piirrettiin yleiskaapelointikaavio. Yleiskaapelointijärjestelmän johtokaaviossa esitetään jakamot ja laitepaikat, sekä niiden väliset kaapeloinnit. Talojakamo asennetaan tekniseen tilaan. Yleiskaapelointiverkon on oltava jakamon suhteen tähtiverkko. Talojakamolta viedään oma kaapeli jokaiseen varastoon. CAT6 kaapelin E-luokan mukainen maksimipituus on noin 90m. Tätä pidemmät kaapeloinnit on tehtävä valokuitukaapelilla. Tässä kohteessa ei tule yli 90m kaapelipituuksia, joten yleiskaapelointi talojakamolta eteenpäin voidaan toteuttaa CAT6-kaapelilla. (Viestintävirasto MPS 65 2014, 34–37)

*”Yleiskaapelointijärjestelmällä tarkoitetaan optisella kaapeloinnilla ja parikaapeloinnillatoteutettua, yleiskaapelointistandardien mukaista, määrämuotoista eri tietoliikennejärjestelmien käyttöön soveltuvaa sisäverkkoa, jota käytetään päätelaitteiden liittämiseen yleiseen kiinteään viestintäverkkoon ja joka tukee suurta joukkoa sovelluksia ja viestintäpalveluja” (Viestintävirasto 65A/2014 M, 2)*

*”Yleiskaapelointijärjestelmät ovat standardoituja niin kansainvälisellä kuin kansallisella tasolla. Yleisin suositeltava yleiskaapelointistandardi on SFS-EN 50173-1, joka on E-luokan mukainen järjestelmä. Se toteutetaan kategoria 6 kaapeleilla ja kytkentäkomponenteilla. Kyseisen standardin mukainen yleiskaapelointijärjestelmä mahdollistaa jopa 1 Gbit/s-siirtonopeuden parikaapeliverkossa.”(Sähköinfo Oy 2015)*



### 2.10.2 Kameravalvontajärjestelmä

Kameravalvontajärjestelmätoimittaa ulkopuolinen toimittaja. Sähkösuunnittelussa määritellään kameroiden sijainnit ja niille tarvittavat kaapeloinnit ja liitännät tasokuvaan. Kameroiden sijainti määritellään myös julkisivukuviin. Kamerat toimivat Power overEthernet eli PoE-tekniikalla. Kameralle tuodaan jakamolta yksi CAT6-tason kaapeli, jolla hoidetaan sähkönsyöttö ja tiedonsiirto. Videotallennin ja jakamo sijoitetaan tekniseen tilaan.

### 2.11 Palovaroitinjärjestelmä ja savunpoisto

Suunniteltava kohde luokitellaan savunpoistotasolle 1, eikä kohteessa tarvita koneellista tai automaattista savunpoistoa. Mahdollinen savu poistetaan nosto-oven kautta pelastuslaitoksen toimesta. Rakennuksessa ei määräysten mukaan tarvita paloilmoitinjärjestelmää.

### 2.12 Lämmitys

Talliosakkeen lämmitys hoidetaan sähköllä. Talliosakkeeseen tulee vakiotoimituksena yhdestä kolmeen 1500W sähkölämmittintä talliosakkeen koon mukaan. Nämä riittävät varastokäytössä. Sähkölämmittimet johdotetaan talliosakkeen omalle ryhmäkeskukselle ja näin jokaisen talliosakkeen haltija maksaa omat lämmityskulunsa. Talvella sähkölämmitys on suurin sähkönkuluttaja ja sähkösuunnittelussa lämmittimet on jaettava tasaisesti kolmen vaiheen kesken symmetrisen kuorman aikaansaamiseksi.

### 3 MITOITUS JA LASKELMAT

#### 3.1 Liittymän mitoittaminen ja laskenta

Tässä kohteessa varastojen lopullinen käyttötarkoitus ei ole selvillä, joten liittymiskaapelin mitoituksessa on varauduttava kiinteistön huipputehon nousuun. Kokemusperäisesti on tiedossa, että keskimääräinen talliosakevaraston mitoitusvirtaon pelkässä varastokäytössä on n. 4 - 4,5 A.

Varastokohtainen huipputeho selvitetään arvioimalla varaston sähkölaitteiden ottamat tehot ja laskemalla kaavalla 1. Varastoissa on 1 – 3 sähkölämmittintä teholtaan 1,5kW. Suurimpaan osaan varastoja tulee 1 kpl lämmittimiä, joten keskimääräinen lämmitysteho on n. 2,0kW. Varastoihin tulee pistorasiat lämminvesivaraajaa varten, mutta vain harvoihin varastoihin varaaja asennetaan. Lämminvesivaraajan ottama teho on n. 2,0kW. Suurin osa varastoista on varastokäytössä ja niissä käytetään harvoin sähköä muuhun, kuin lämmitykseen. Tämän vuoksi tasauskertoimena voidaan käyttää  $k_1=0,1$ , joka hyvin pieni. Kojekuorma ja valaistuskuorma keskimääräisessä varastossa on satunnaista. Kojekuormaksi voidaan arvioida n. 1500W ja valaistuskuormaksi n. 300W. Kojekuormassa on laskettuna mukaan myös varaston huippuimurin teho. Mitoitusteho yhdelle varastolle saadaan kaavalla 1.

$$P_{hmax} = P_{hläm} + k_1(P_{LVV} + P_{kk} + P_{val})$$

$$P_{hmax} = 2000W + 0,1(2000W + 1000W + 300W)$$

$$P_{hmax} = 2330W$$

Tästä saadaan laskettua kaavasta 2 johtamalla koko hallin mitoitus-teho. Halliin ei tule IV-konetta, vaan varastojen ilmanvaihto on toteutettu huippuimureilla ja korvausilmaventtiileillä. Ulkovalaistuksen kuorma on n. 1000W. Muut lvi-laitteet, kojekuorma ja sähkölämmitykset on jo laskettuna mukaan varastokohtaiseen tehoon.

$$P_{max} = 1,3 \times (P_{IV-kone} + P_{valaistus} + P_{muutlvi-laitteet} + P_{kojeetjalaitteet} + P_{sähkölämmitykset} + P_{muut}) \quad (2)$$

$$P_{max} = 1,3 \times (0 \text{ W} + 1000 \text{ W} + 0 \text{ W} + 0 \text{ W} + 0 \text{ W} + 0 \text{ W} + 24 \times 2330 \text{ W})$$

$$P_{max} \approx 74000 \text{ W}$$

Mitoitustehosta saadaan kaavalla 3 laskettua mitoitusvirta.

$$I_{max} = P_{max} / (\sqrt{3} \times U_p \times \cos \varphi) \quad (3)$$

$$I_{max} = 74000 \text{ W} / (\sqrt{3} \times 400 \text{ V} \times \cos 1)$$

$$I_{max} \approx 107 \text{ A}$$

### 3.1.1 Pääsulakkeen mitoittaminen

Pääsulake mitoitetaan kiinteistön huipputehon  $P_{kmax}$  ja sen kautta lasketun virran ( $I_{max}$ ) mukaan. Taulukosta 1 valitaan huippuvirtaa seuraava isompi sulakekoko, joka on 125A. Tässä on huomioitava, että kaikilla sähköverkonhaltijoilla ei ole tarjolla 3x125A sähköliittymää, vaan seuraava koko olisi monesti jo 3x160A. Tässä kohteessa verkonhaltijalla kuitenkin on kyseinen liittymäkoko 3x125A valikoimassa. Huipputehon kasvaessa tulevaisuudessa voidaan sulakekoko helposti kasvattaa, kun siihen varaudutaan sähköpääkeskuksen komponenttien liittymiskaapelin mitoituksessa.

### 3.1.2 Liittymiskaapelin mitoittaminen

Pääsulakkeen koon mukaan mitoitetaan liittymisjohto. Liittymisjohdon tyypiksi valitaan neljä johtiminen AXMK-tyypin kaapeli. Liittymisjohdon vähimmäiskuormitettavuus saadaan liittymän pääsulakkeen nimellisvirtaa vastaavan virta-arvon kohdalta taulukosta 1. Johtimen poikkipinta-alaksi valitaan taulukosta 2 johdon vähimmäiskuormitettavuutta seuraava isompi virta-arvo asennustavan C mukaisesta sarakkeesta. Taulukon 2 mukaan kaapeliksi riittää tällä mitoitusvirralla  $70\text{mm}^2\text{Al}$  johtimellinen kaapeli.

Koska mitoituslaskelma on tehty olettaen että kiinteistö on varastokäytössä, täytyy syöttökaapelin mitoituksessa varautua siihen, että varastoja käytetään monenlaiseen yritystoimintaan. Jos useampia varastoja muutetaan lämpimiksi toimitiloiksi tai varastoihin tulee isompia työkoneita ja paljon kojekuormaa, voi huipputeho nousta huomattavasti.

Arvioidaan, että kerroin sähkötehon tarpeen lisäykselle tulevaisuudessa kasvaa  $I_{\max} = 200\text{A}$ . Siitä taulukon 1 sarakkeen C mukaisesti johdolta vaaditaan kuormitettavuuden kestoksi  $221\text{A}$ . Tälle kuormitukselle johdinpoikkipinnaksi riittäisi  $150\text{mm}^2$  johdin, mutta syöttökaapeliksi valittiin suosituimmuuden perusteella  $185\text{mm}^2$  johtimellinen kaapeli AXMK 4x185 S. Tämä kaapelityyppi on myös kohteen sähköverkkoyhtiöllä käytössä aina 250A liittymäkoolle asti.

### 3.2 Kaapelien oikosulkusuojauksen laskenta

Oikosulkuvirrat lasketaan rakennuksen sähköverkon epäedullisimmissa pisteissä kaavalla 4. Epäedullisimmat paikat sijaitsevat SPK:lta kauimmaisten varastojen pisimpien ryhmäjohtojen päissä. Esimerkkinä lasketaan oikosulkuvirta  $I_{kSPK}$  SPK:lla. Oikosulkuvirtaan SPK:lla vaikuttavat sähkönjakeluverkon impedanssi  $Z_{k\text{ verkko}}$  ja liittymiskaapelin impedanssi  $Z_{k185}$ . Liittymiskaapelin pituus on n. 45m. Oikosulkuvirta liittymispisteessä sähköverkon haltian mukaan 2027A.

$$I_{kSPK} = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot Z_k} \quad (4)$$

$$Z_{kverkko} = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot I_k}$$

$$Z_{kverkko} = \frac{0,95 \cdot 400V}{\sqrt{3} \cdot 2027A}$$

$$Z_{k\text{ verkko}} \approx 0,11\Omega$$

$$I_{kSPK} = \frac{c \cdot U}{\sqrt{3} \cdot (Z_{k185} + Z_{kverkko})}$$

$$I_{kSPK} = \frac{0,95 \cdot 400V}{\sqrt{3} \cdot ((0,045km \cdot 0,270\Omega/km) + 0,11\Omega)}$$

$$I_{kSPK} \approx 1822A$$

Kaavalla 4 lasketaan taulukkolaskentaohjelman avulla oikosulkuvirrat rakennuksen sähköverkon kauimmissa pisteissä keskuksilla ja ryhmäjohtoilla ja niitä verrataan taulukoiden 5 ja 6 arvoihin. Taulukosta 5 selviää johdonsuoja-automaattien edellyttämät pienimmät oikosulkuvirrat ja Taulukosta 6 selviää G-sulakkeiden edellyttämät pienimmät oikosulkuvirrat 0,4s ja 5,0s toiminta-ajoilla. Oikosulkuvirrat SPK:lla, kauimmilla ryhmäkeskuksilla ja kauimmaisten ryhmäjohtojen päissä on laskettuna pistorasioilla taulukossa 9 ja valaistusryhmillä taulukossa 10.

Taulukko 9. Pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta pistorasiaryhmä

| Sijainti   | Kaapeli      | L (km) | Zk ( $\Omega$ ) | Ik (A)      |
|------------|--------------|--------|-----------------|-------------|
| SPK        | AXMK 4x185   | 0,045  | 0,118225374     | <b>1856</b> |
| RK         | MCMK 5x10+10 | 0,06   | 0,252985374     | <b>867</b>  |
| Ryhmäjohto | MMJ 3x1,5    | 0,01   | 0,399185374     | <b>550</b>  |

Taulukko 10. Pienin yksivaiheinen oikosulkuvirta valaistusryhmä

| Sijainti   | Kaapeli      | L (km) | Zk ( $\Omega$ ) | Ik (A)      |
|------------|--------------|--------|-----------------|-------------|
| SPK        | AXMK 4x185   | 0,045  | 0,120385374     | <b>1822</b> |
| RK         | MCMK 5x10+10 | 0,06   | 0,255145374     | <b>860</b>  |
| Ryhmäjohto | MMJ 3x2,5    | 0,015  | 0,386695374     | <b>567</b>  |

Kun laskennan lopputuloksena saatuja oikosulkuvirran arvoja verrataan taulukoiden 5 ja 6 arvoihin, voidaan todeta, että prospektiivinen oikosulkuvirta on riittävä rakennuksen sähköverkon jokaisessa pisteessä.

### 3.3 Kaapelien jännitteenaleneman laskenta

Kaapeleille laskettiin jännitteenalenemat. Laskemisessa haasteita tuottaa se, että varastojen lopullinen käyttötarkoitus ei ole selvillä. Laskennassa tarvittavat kuormitusvirrat täytyy arvioida. Laskennassa käytettiin kaapeleiden pisimpiä mahdollisia mittoja ja suurimpia virta-arvoja joita voidaan olettaa esiintyvän. Epäedullisimmat paikat sijaitsevat SPK:lta kauimmaisten varastojen pisimpien ryhmäjohtojen päissä. Esimerkkilaskuna alla esitettynä kiinteistön liittymiskaapelin jännitteen aleneman laskenta kaavalla 7:

$$\Delta U = I \cdot \sqrt{3} \cdot l (r \cdot \cos\varphi \pm x \cdot \sin\varphi)$$

$$\Delta U = 107A \cdot \sqrt{3} \cdot 0,045\text{km} (0,207\Omega \cdot 0,8 + 0,08\Omega \cdot 0,6)$$

$$\Delta U = 1,78V$$

Tästä saadaan suhteellinen jännitteenalenema kaavalla 8:

$$\Delta u = 100 \frac{u}{U_0}$$

$$\Delta u = 100 \frac{1,78V}{230V}$$

$$\Delta u \approx 0,8\%$$

Kaavojen 6, 7 ja 8 mukaan lasketaan taulukkolaskentaohjelmalla sähköjärjestelmän jännitteenalenemat.

Taulukko 11. Jännitteen alenema kauimmaisen varaston pisimmässä valaistusryhmässä

| Sijainti            | I (A) | Kaapeli      | L (km) | $\Delta U$ (V) |
|---------------------|-------|--------------|--------|----------------|
| SPK                 | 107   | AXMK 4x150   | 0,045  | 1,78           |
| RK                  | 20    | MCMK 5x10+10 | 0,06   | 3,85           |
| Ryhmäjohto          | 3     | MMJ 3x1,5    | 0,01   | 0,71           |
| $\Delta U$ Yht. (V) |       |              |        | 6,34           |
| $\Delta u$ (%)      |       |              |        | <b>2,8</b>     |

Taulukko 12. Jännitteen alenema kauimmaisen varaston pisimmässä pistorasiaryhmässä.

| Sijainti            | I (A) | Kaapeli      | L (km) | $\Delta U$ (V) |
|---------------------|-------|--------------|--------|----------------|
| SPK                 | 107   | AXMK 4x150   | 0,045  | 1,78           |
| RK                  | 20    | MCMK 5x10+10 | 0,06   | 3,85           |
| Ryhmäjohto          | 16    | MMJ 3x2,5    | 0,015  | 3,40           |
| $\Delta U$ Yht. (V) |       |              |        | 9,03           |
| $\Delta u$ (%)      |       |              |        | <b>3,9</b>     |

Jännitteenalenemat ovat taulukon 7 ja SFS-Käsikirja 600-1 Taulukko G.52.1 mukaisia ja sallituissa rajoissa valaistusryhmien osalta alle 3% ja pistorasiaryhmien osalta alle 5%.



#### 4 POHDINTA

Suurin osa varastoista tulee todennäköisesti olemaan varastokäytössä ja niissä käytetään harvoin sähköä muuhun, kuin lämmitykseen. Tämän vuoksi laskennassa tasauskertoimina käytettiin hyvin pieniä arvoja. Varastohallikiinteistöjen ja varastojen sähkönkulutuksesta oli kokemusperäistä tietoa ja liittymän mitoitus pääsulakkeen osalta olisi tehty huomattavasti varovaisemmin ilman aikaisempaa kokemusta varastohallien sähkönkulutuksesta.

Liittymiskaapelin mitoituksessa varauduttiin reiluun tehon kasvuun tulevaisuudessa. Myös sähkökeskuksen komponentit on mitoitettu vastaamaan huipputehon kasvua tulevaisuudessa. Näin voidaan lisätehon tarve hoitaa pääsulakekoon kasvattamisella niin, että kaapeleita tai keskuksen komponentteja ei tarvitse vaihtaa, vaan sulakekoko voidaan kasvattaa tällä kiinteistön sisäisen sähköverkon mitoituksella aina 200A:iin asti.

Sähköjärjestelmään suunnitellut kaapelit ja suojalaitteet todettiin laskemalla riittäviksi ylikuormitus- ja oikosulkusuojauksen, sekä jännitteenalennemien kannalta.

Suunnittelun ohessa kehitettiin varastohallikonseptin sähkösuunnittelua piirtämällä sähköpääkeskuksen mallisuunnitelma CADS Planner-ohjelman keskuskaavio-sovelluksella. Mallia voidaan hyvin pienin muutoksin käyttää tulevien tämän tyyppin rakennusten sähköpääkeskuksen keskuskaaviona. Myös varastojen ryhmäkeskusten malli piirrettiin keskuskaavio-sovelluksella. Opinnäytetyössä luotiin sähkösuunnittelun käyttöön myös uusi sähköpiirustusten numerointijärjestelmä.

## LÄHTEET

ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. Luku 21: Valaistustekniikka. Viitattu 10.5.2017.  
[http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/07\\_1\\_Oikosulkusuojaus%20ja%20sulakkeet.pdf](http://www.oamk.fi/~kurki/automaatiolabrat/TTT/07_1_Oikosulkusuojaus%20ja%20sulakkeet.pdf)

Ensto 2008. Keskuksen merkitys. Viitattu 12.1.2017.

<http://www2.amk.fi/Ensto/www.amk.fi/opintojaksot/0705016/1204792797383/1210598235193/1210598254225/1210598315291.html>

Sähkötieto ry 2007. Esimerkkipiirustukset, asuintalo ST-esimerkit 5

Sähkötieto ry 2011. ST-kortti 13.31

Sähköala.fi. 2016a. Yleiskaapelointijärjestelmät Viitattu 26.7.2016.

[http://www.sahkoala.fi/kiinteistoala/tietoliikenneverkot/fi\\_FI/yleiskaapelointi/](http://www.sahkoala.fi/kiinteistoala/tietoliikenneverkot/fi_FI/yleiskaapelointi/)

Sähköala.fi 2016b. Tietoliikenneverkot. Viitattu 26.7.2016.

[http://www.sahkoala.fi/kiinteistoala/tietoliikenneverkot/fi\\_FI/laajakaistaratkaisuja/](http://www.sahkoala.fi/kiinteistoala/tietoliikenneverkot/fi_FI/laajakaistaratkaisuja/)

SFS 6000-1. 2012. Pienjännitesähköasennukset. Osa 1: Perusperiaatteet, yleisten ominaisuuksien määrittely ja määritelmät. Helsinki: SFS.

Jännitteen aleneman laskeminen 2016. Viitattu 27.7.2016.

<https://moodle.amk.fi/mod/book/tool/print/index.php?id=1796#ch81>

TAMK Talotekniikka 2013. Automaattisen poiskytkennän laskeminen. Viitattu 28.7.2016. <http://tate.blogs.tamk.fi/sahkoinen-talotekniikka/suojaus/vikasuojaustavat/automaattisen-poiskytkennan-laskeminen/>

Viestintävirasto 65/2013 M.12.7.2013. Määräys kiinteistön sisäverkoista ja teleurakoinnista

Viestintävirasto 65 A/2014 M 17.12.2014. Määräys kiinteistön sisäverkoista ja teleurakoinnista

Viestintävirasto MPS 65. 17.12.2014. Määräyksen 65 perustelut ja soveltaminen. Kiinteistön sisäverkoista ja teleurakoinnista.

## LIITTEET

- Liite 1. Piirustusluettelo (luottamuksellinen)
- Liite 2. Asemapiirustus (luottamuksellinen)
- Liite 3. Tasopiirustukset (luottamuksellinen)
- Liite 4. SPK keskuskaavio + kansilehti (luottamuksellinen)
- Liite 5. RK keskuskaavio + kansilehti (luottamuksellinen)
- Liite 6. Maadoituskaavio (luottamuksellinen)
- Liite 7. Valaisinluettelo (luottamuksellinen)
- Liite 8. Valaistuslaskelma (luottamuksellinen)